

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma / koneensuunnittelu

Tero Talvio

PUMPPUJEN KOEAJOASEMAN ERGONOMIAN JA TYÖTURVALLISUUDEN
PARANTAMINEN

Insinöörityö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

TALVIO, TERO

Pumppujen koeajoaseman ergonomian ja työturvallisuuden parantaminen

Insinöörityö

27 sivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Simo Ollila

Toimeksiantaja

Sulzer Pumps Finland Oy

Toukokuu 2011

Avainsanat

ergonomia, konedirektiivi, pumput, standardit, työturvallisuus

Insinöörityö on tehty Sulzer Pumps Finland Oy:n Karhulan yksikön tutkimuskeskukselle. Tavoitteena oli laatia suunnitelma, jolla parannetaan pienen koeajoaseman käytöturvallisuutta ja ergonomiaa sekä yksinkertaistetaan testauksen alkuvalmisteluiden suorittamista.

Työtä lähestyttiin aloittelevan suunnittelijan näkökulmasta. Tämä tarkoittaa sitä, että työssä ei niinkään keskitytä teknisten yksityiskohtien esittelemiseen vaan lainsäädännöllisiin seikkoihin, joita ilman säädösten mukainen suunnittelu ei toteudu ja jotka useimmiten ovat tuntemattomia työuraansa aloittavalle suunnittelijalle.

Työlle yhteisesti asetetut tavoitteet saavutettiin lähes kaikilta osin. On kuitenkin selvää, että vasta suunnitelmien toteutus osoittaa teknisten ratkaisujen lopullisen toimivuuden. Suunnittelua määrittävien säädösten osalta työ ei ole kaikenkattava eikä sitä sellaiseksi ole tarkoitettukaan, mutta tärkeimmät pääkohdat on pyritty esittämään ymmärrettävästi.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering

TALVIO, TERO

Improvement of Ergonomics and Industrial Safety in Pump
Test Drive Station

Bachelor's Thesis

27 pages

Supervisor

Simo Ollila, Principal Lecturer

Commissioned by

Sulzer Pumps Finland Oy

May 2011

Keywords

ergonomics, machinery directive, pumps, standards,
industrial safety

This thesis work was done for the research center of Sulzer Pumps Finland Oy's Karhula unit. Its objective was to prepare a plan to improve the operational safety and ergonomics of the small test drive station and to simplify the preparations that are carried out before testing.

The approach to this thesis work was from the viewpoint of a beginner design engineer. This means that this work does not emphasize the technical design details. Instead, its focus is on the legislative circumstances that must meet the legal requirements a planning process, and which, in most, cases are unfamiliar to the design engineer who is at the beginning of his or her career.

The targets set were met in almost every aspect of the work. However, it is clear that the final functionality of the designs can only be evidenced after they have been realized. The work does not cover all the areas that are needed to be considered in a planning process that fulfills the legal requirements and it is not meant as such, but an attempt is made to present in a clear and understandable manner.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	LAINSÄÄDÄNTÖ, DIREKTIIVIT JA STANDARDIT	6
2.1	Taustaa	6
2.2	Lainsäädäntö ja asetukset	6
2.3	Standardit	7
3	KONEDIREKTIIVIN NOUDATTAMISEN PÄÄVAIHEET	8
3.1	Soveltamisalan varmistaminen	8
3.2	Turvallisuussuunnittelu	9
3.3	Vaatimustenmukaisuuden arviointi	9
3.4	EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen	10
3.5	CE-merkinnän kiinnittäminen	10
4	LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITE	10
5	LAIPPALIITOSTEN SUOJAUS	14
6	MOOTTORIN ALUSTA	15
6.1	Pääpiirteet	15
6.2	Sovellettava lainsäädäntö	16
6.3	Tekniset yksityiskohdat	18
7	KARDAANIAKSELIN SUOJAUS	19
7.1	Pääpiirteet	19
7.2	Sovellettava ohjeistus	20
7.3	Tekniset yksityiskohdat	22
8	PUMPUN ALUSTA	24
9	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

Työturvallisuuden ja ergonomian merkitys on korostunut etenkin suurissa yrityksissä. Työtapaturmat ja ammattitaudit aiheuttavat kustannuksia työnantajalle ja voivat pahimmillaan jopa vahingoittaa yrityksen mainetta. Enää ei riitä, että toiminta on sertifioitua ympäristön kannalta. Yritysten asiakkaat ovat heränneet vaatimaan toimittajiltaan myös työturvallisia toimintatapoja. Globaalissa maailmassa ei kenelläkään ole varaa menettää mainettaan, sillä paha kello kuuluu kauas.

Globaali maailma on tuonut mukanaan globaalit pelisäännöt. Tämä on ollut havaittavissa EU:n taholta vuosi vuodelta lisääntyneinä ohjeina ja määräyksinä myös koneen suunnittelun saralla. Harva kuitenkaan osaa soveltaa niitä kunnolla, sillä ne eivät valitettavasti kuulu insinöörikoulutuksen painopisteisiin (1, 17). Työpaikoilta onkin yhä löydettävissä koneita, jotka eivät täytä edes 1970-luvulla annettuja määräyksiä (2, 23).

Turvallisuuslähtöinen toiminta lähtee ennen kaikkea asenteista. Paraskaan suojalaite ei ole hyödyksi, jos työyhteisö ei ole asennoitunut työturvalliseen toimintaan. Työturvallisuuden merkitys ja hyöty on ymmärrettävä ja sisäistettävä aina laitteen suunnittelijasta loppukäyttäjään saakka. Myös tämän työn tilaaja, Sulzer Pumps Finland Oy, pyrkii jatkuvasti parantamaan henkilöstönsä työturvallisuutta. Toimiminen osana maailmanlaajuista Sulzer-konsernia, joka työllistää lähes 14 000 henkeä, tarjoaa monipuolisia mahdollisuuksia hyväksi havaittujen turvallisuuskäytänteiden jakamiseen ja opimiseen. Miten suunnitella laite, joka on turvallinen, ergonominen, käyttötarkoituksensa mukainen ja aiempaa parempi sekä täyttää viranomaisvaatimukset? Tässä insinöörityössä pyritään vastaamaan näihin kysymyksiin siltä osin, kuin kehityskohteeni antaa mahdollisuuden.

2 LAINSÄÄDÄNTÖ, DIREKTIIVIT JA STANDARDIT

2.1 Taustaa

Koneturvallisuuden vaatimukset ovat kiristyneet asteittain vuodesta 1993 alkaen, jolloin Suomi liittyi Euroopan talousalueeseen (ETA). Jäsenyys on tuonut mukanaan runsaasti mahdollisuuksia, mutta myös velvollisuuksia. Tavaroiden vapaa liikkuvuus on ETA:n ja EU:n tärkeimpiä periaatteita, mutta se ei voi tapahtua kansalaisten turvallisuuden kustannuksella. Vapaan liikkuvuuden edellytyksenä on, että kaikki noudattavat samoja sääntöjä. Suomessa valmistetun koneen on täytettävä samat direktiivit kuin muualla ETA-alueella valmistetun tai sinne tuotavan koneen. (2, 27.)

Lainsäädäntö luo pohjan koneiden turvallisuudelle. Pelkkä lainsäädännön tuntemus ei kuitenkaan tarjoa riittävää perustaa turvallisten koneiden suunnittelulle, sillä laeissa kuvataan vain yleiset periaatteet. Syventävää tietoa tarjoavat standardit, asetukset, valtioneuvoston ja ministeriöiden päätökset pohjautuvat EU:n direktiiveihin, joita tarkennetaan ja muutetaan kehityksen kulkiessa. (2, 27.) Asiatiedon laajuus ja vaikeaselkaisuus luovat ongelman. On selvää, että yksittäisen suunnittelijan on hyvin vaikea pitää itseään ajan tasalla kaikista alansa kohdistuvista muutoksista. Tämä pätee etenkin tapauksissa, joissa työnantaja ei koe tarpeelliseksi päivittää työntekijöidensä ammattitaitoa.

2.2 Lainsäädäntö ja asetukset

Koneturvallisuuden perusasiat on määritelty kansallisella tasolla nk. konelaissa (Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta 1016/2004) ja työturvallisuuslaissa (738/2002). Vastuunjako on selkeä. Konelakia sovelletaan osapuoliin, jotka ovat tekemisissä laitteen kanssa ennen asiakasta. Suomessa käyttöön otettavan tai markkinoitavan, pääosin työkäyttöön tarkoitetun teknisen laitteen on oltava turvallinen ja määräysten mukainen. Konelaki velvoittaa valmistajaa, maahantuojaa, myyjää tai muuta laitteen luovuttavaa henkilöä varmistumaan tästä. (2, 27.)

Työturvallisuuslaki korostaa puolestaan työnantajan vastuuta. Myös työnantajan on varmistauduttava, että käytettävät koneet ja laitteet ovat turvallisia ja niitä koskevien säännösten mukaisia. (2, 27.) Työnantajan vastuu on tiukka. Edes valmistajan mahdol-

liset laiminlyönnit koneturvallisuuden suhteen eivät vapauta työnantajaa vastuusta (2, 21).

EU:n taholta tuleva lainsäädäntöohjeistus perustuu direktiiveihin. Koneensuunnittelun kannalta merkittävin direktiivi on nk. konedirektiivi 2006/42/EY (jäljempänä konedirektiivi), jota voidaan pitää koneensuunnittelun perusdirektiivinä. Tämän pohjalta laadittu kansallinen asetus (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 2008/400) säättää koneen suunnitteluun ja valmistamiseen liittyvistä terveys- ja turvallisuusvaatimuksista, vaatimuksenmukaisuuden osoittamisesta sekä markkinoille saattamisesta ja käyttöönotosta.

2.3 Standardit

Suunnittelijan kannalta tärkeimpiä tiedonlähteitä ovat yhdenmukaistetut standardit. Ne eivät ole velvoittavia viranomaismääräyksiä, mutta niiden noudattamista voi pitää suotavana. Suunnittelijan on näin helpointa varmistua, että laite täyttää sille asetetut määräykset.

Konedirektiiviin liittyvät turvallisuusstandardit on jaoteltu kolmiportaisesti A-, B- ja C-tyyppeihin. A-tyypissä (**turvallisuuden perusstandardi**) esitetään perusteet, suunnitteluperiaatteet sekä kaikkiin koneisiin sovellettavat yleiset näkökohdat. B-tyypissä (**turvallisuuden ryhmästandardi**) käsitellään yhtä turvallisuusnäkökohtaa (esim. melua, värinää) tai suojausteknistä laitetta (esim. suojuksia, kaksinkäsinhallintalaitteita), jota voidaan soveltaa useissa erilaisissa koneissa. C-tyypin (**konekohtainen turvallisuusstandardi**) standardit sisältävät yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia yksittäiselle koneelle tai koneryhmälle. (3, 9.)

Yhdenmukaistettujen standardien käyttämisestä on pyritty tekemään myös houkuttelevaa konedirektiivin takaaman vaatimustenmukaisuusolettamuksen perusteella. Tällöin, lähes kaikissa tapauksissa (käytettäessä C-tyypin standardia), koneen katsotaan täyttävän automaattisesti konedirektiivin vaatimukset niiltä osin, jotka kyseinen standardi kattaa. (3, 10.)

Jos kone on valmistettu yhdenmukaistetun standardin mukaisesti, jonka viitenumero on julkaistu Euroopan unionin virallisessa lehdessä, sen

katsotaan täyttävän kyseisen yhdenmukaistetun standardin kattamat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. (4, 6 §)

Ellei koneen suunnittelussa ja rakentamisessa ole kaikilta osin noudatettu yhdenmukaistettuja standardeja, on valmistajan osoitettava, että vastaava turvallisuustaso on muulla tavoin saavutettu (3, 8). Tämä saattaa hidastaa koneen markkinoille saattamista.

Standardien soveltaminen ei silti ole helppoa. Jo pelkästään konedirektiiviin liittyviä koneturvallisuuden standardeja on olemassa yli 700 kpl. On myös aika ajoin varmistuttava, että käytetyt standardit ovat edelleen yhdenmukaistettuja. Standardi voi menettää yhdenmukaistetun asemansa esimerkiksi silloin, jos siitä on julkaistu vaatimamman turvallisuustason edellyttämä uudistettu painos. (3, 8-9.) Myös kohdemaan kielelle käännetty standardi voi osoittautua monitulkintaiseksi. Tällöin oikea tulkinta on etsittävä englanninkielisestä versiosta.

3 KONEDIREKTIIVIN NOUDATTAMISEN PÄÄVAIHEET

3.1 Soveltamisalan varmistaminen

Direktiivien tarkka noudattaminen vaatii suurta huolellisuutta. Jo ennen koneen suunnittelun aloittamista on tärkeää varmistua, minkä direktiivin alaisuuteen suunniteltava laite kuuluu. Esimerkiksi hissi ei kuulu konedirektiivin alaisuuteen, ja siihen sovelletaan hissidirektiiviä 95/16/EY. Toisaalta konedirektiivin soveltamisalaan kuuluva laite voi sisältää muun muassa sähkölaitteita. Tällöin vaaditaan myös pienjännitedirektiivin ja sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevien direktiivien soveltamista. (2, 28.) Vastuu soveltamisalan tarkistamisesta kuuluu valmistajalle, mutta myös suunnittelijan on hyvä olla tietoinen asiasta (3, 6). Tämä vähentää ylimääräistä työtä projektin loppuvaiheessa. Yksinkertaista tapaa määrittää, minkä direktiivin alaisuuteen jokin asia kuuluu, ei ole. Kyse on ajan myötä karttuvasta ammattitaidosta.

3.2 Turvallisuussuunnittelu

Turvallisuussuunnittelun tarkoituksena on varmistaa, että kone täyttää konedirektiivin liitteessä 1 luetellut koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Kaikille koneille yhteisiä vaatimuksia ovat kohdat 1.1.2 Turvallistamisen periaatteet, 1.7.3 Koneen merkinnät ja 1.7.4 Ohjeet. On kuitenkin hyvä ensin selvittää, onko konetta varten olemassa valmista C-tyyppin standardia. Tällöin voidaan hyödyntää tuotekohtaisia tarkkoja määritelmiä vaatimuksien täyttämiseksi. Muussa tapauksessa voidaan käyttää apuna standardia EN ISO 12100. Se sisältää yksityiskohtaisempaa yleistietoa kaikille yhteisistä vaatimuksista. (3, 6,9.)

Tämä ei kuitenkaan riitä turvallisuussuunnittelun periaatteen täyttämiseksi. Koneen valmistajan on suoritettava koneen turvallisuusriskien arviointi ja itse selvitettävä, mitkä muut liitteen 1 kohdat koskevat kyseessä olevaa konetta. C-tyyppin standardin mahdollinen olemassaolo helpottaa hieman tilannetta. Standardia laadittaessa on jo tehty konetyyppiä koskeva riskinarviointi. Yksityiskohtaisempi riskinarviointi on tehtävä vain niiden koneen vaarojen osalta, joita standardi ei kata. (3, 6,9.)

3.3 Vaatimustenmukaisuuden arviointi

Prosessin vaihe sisältää kolme pääkohtaa:

1. Koneen valmistajan on varmistettava, että koneen tekniset tiedot ovat saatavilla konedirektiivin liitteen 7A mukaisessa laajuudessa. Vaadittu dokumentaatio on hyvin laaja sisältäen muun muassa yksityiskohtaiset piirustukset, laskelmat ja testaustulokset.
2. Koneen valmistajan on kyettävä takaamaan, että vaatimustenmukaisuuden arviointi kattaa kaikki vaiheet koneen suunnittelusta valmistukseen ja aina tuotannon lopettamiseen saakka. Uusi vaatimustenmukaisuuden arviointi on tehtävä, jos sovellettavissa määräyksissä tapahtuu muutoksia tai koneeseen tehdään muutoksia.
3. Valmistettaessa konedirektiivin liitteessä 4 mainittuja koneita, esimerkiksi autonostimia, nivelakseleita tai oikohöyliä, valmistaja voi suorittaa vaatimustenmukaisuuden arvioinnin itsenäisesti vain siinä tapauksessa, jos suunnittelussa

ja rakentamisessa on käytetty sellaisia yhdenmukaistettuja standardeja, jotka kattavat kaikki olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Muussa tapauksessa valmistajan on valittava ulkopuolinen laitos arvioimaan ja tarvittaessa testaamaan konetta konedirektiivin 12. artiklassa säädetyllä tavalla. (3, 6-7; 5.)

3.4 EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen

Valmistajan on laadittava konedirektiivin liitteen 2A mukainen asiakirja. Sen oleellisia vaatimuksia ovat 1) tiedot valmistajasta, 2) valmistajan yhteisöön kuuluvan, teknisen eritelmän kokoamiseen valtuutetun henkilön yhteystiedot, 3) kuvaus koneesta ja toiminnasta, tunniste, yleisnime, malli, tyyppi, sarjanumero ja kaupallinen nimi, 4) nimenomainen vakuutus, että kone täyttää sitä koskevat säädökset. Vakuutuksen allekirjoittajana toimii siihen valtuutettu henkilö. Vakuutus on aina toimitettava koneen mukana ja sen sisällön on oltava myös ohjeessa. (3, 7; 5.)

3.5 CE-merkinnän kiinnittäminen

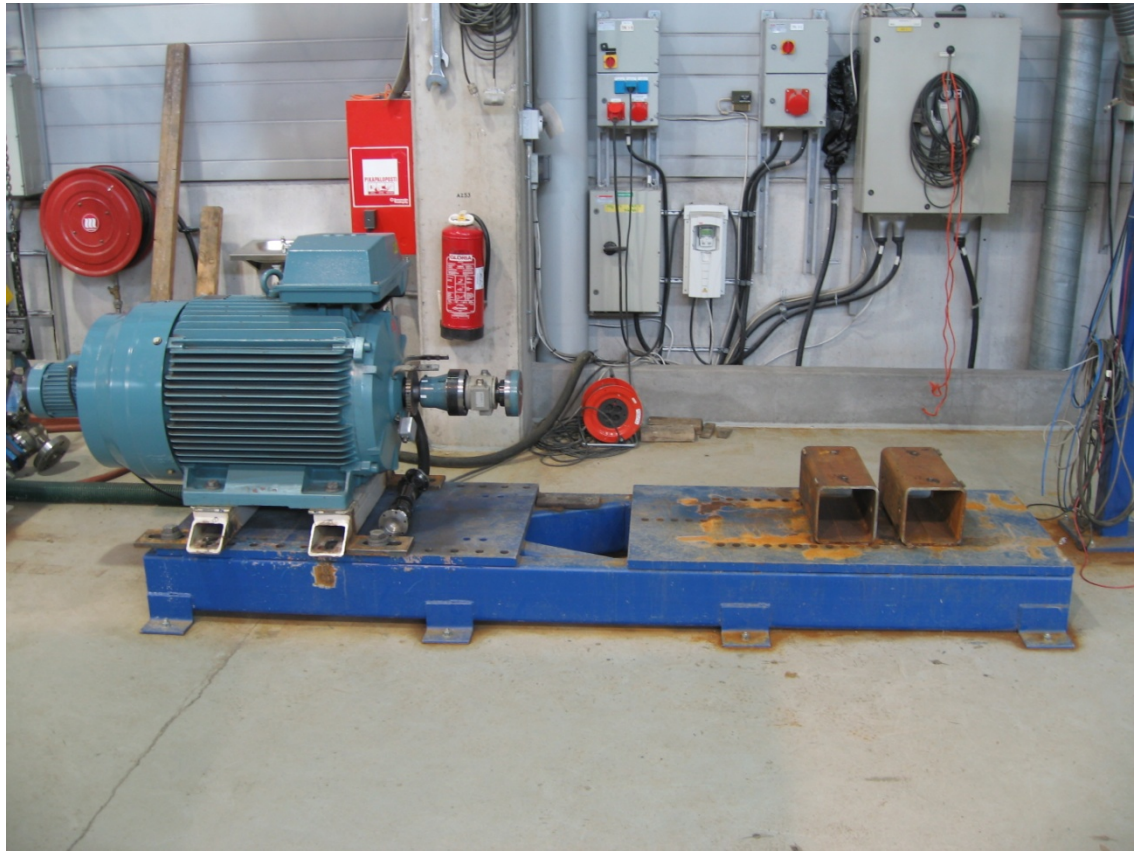
Konedirektiivin liite 3 määrittelee CE-merkinnän kirjoitusasun, koon ja mittasuhteet. Merkintä kiinnitetään valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan tai, jos vaatimustenmukaisuuden on arvioinut ulkopuolinen taho, sen nimen välittömään läheisyyteen. (5.)

4 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITE

Pumppujen testausympäristölle asetetaan korkeat vaatimukset. Suorituskykymittauksissa pyritään optimaalisiin suoritusarvoihin ja testausalustan ongelmat voivat vaikuttaa suuresti tuloksiin. Onnistunut testaus tarjoaa arvokasta tietoa valmistajan organisaatiolle ja asiakkaille.

Vanha koeajoasema (jäljempänä: asema) edusti perinteistä insinöörin lähestymistapaa (kuva 1). Se täytti teknisen tarkoituksensa, mutta ei ollut käyttäjäystävällinen tai helpposti muunneltava. Myös käyttöturvallisuudessa oli puutteita. Moottori ja pumppu olivat samalla alustalla ja moottorin voima välitettiin pumpulle kardaaniakselin kautta.

Moottoria ohjattiin ja tiedot kerättiin suojatusta ohjaamosta käsin käyttöliittymän välityksellä. Aseman vesikiertoa ei kuvata tämän työn yhteydessä.



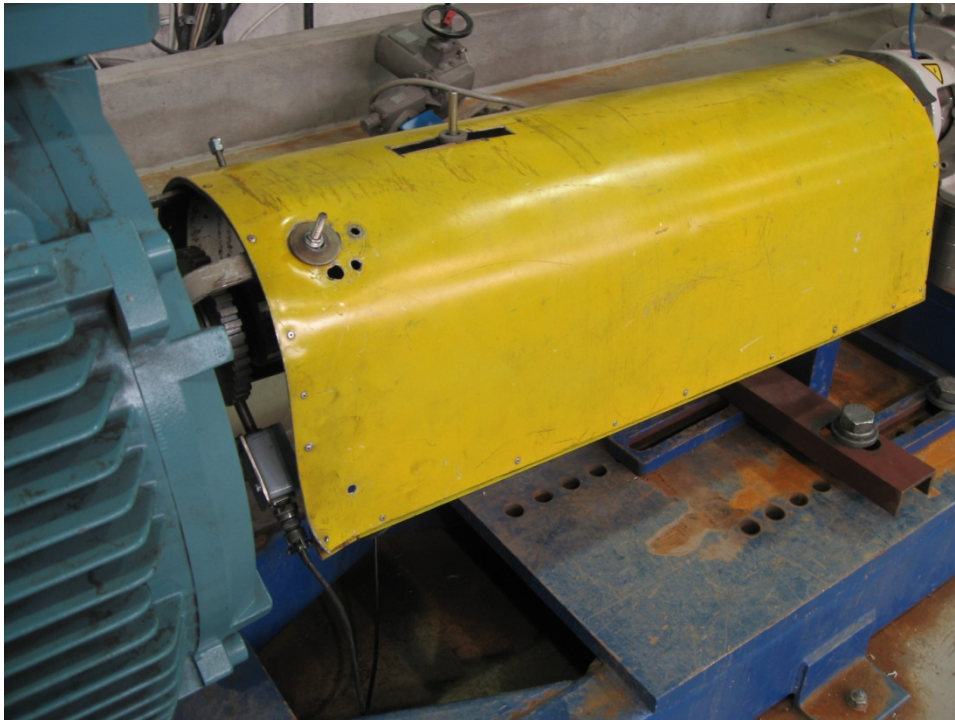
Kuva 1. Pieni koeajoasema

Asemalla jo aiemmin suoritettu riskiarviointi toimi pohjana uuden aseman suunnittelulle (6). Olennaisimmat työturvallisuuteen ja ergonomiaan vaikuttavat epäkohdat olivat seuraavat:

1. Alustan korkeus – Alustan korkeus oli vain noin 230 mm. Pumpun ja kardaniakselin asentaminen vaati kyyristelyä ja polvillaan oloa. Vaarana oli tukija liikuntaelinten ongelmien syntyminen.
2. Tulityön riskit – Pumppujen kiinnittämisessä jouduttiin usein turvautumaan yksilöllisiin asennusratkaisuihin, jotka toteutettiin osin hitsaamalla. Riskitekijöinä pidettiin hitsauksessa syntyvälle säteilylle altistumista ja kuumia pintoja.
3. Liikkuvien osien aiheuttamat vaarat – Moottorin ja pumpun välisen kardaniakselin ja momenttianturin käytönaikainen suojaus oli toteutettu U-kirjaimen muotoon taivutetun, moottoriin ruuveilla kiinnitetyn peltisuojuksen

avulla (kuva 2). Suojus oli alhaalta avoin. Voimansiirron käytönaikainen hajoaminen olisi mahdollistanut irronneen kappaleen irtisinkoutumisen.

4. Putkiston paine – Pumppu liitetään vesikiertoon laippaliitosten välityksellä. Joidenkin pumppujen synnyttämä paine voi nousta jopa 100 baariin asti, mikä korostaa laippaliitoksille asetettuja vaatimuksia. Työntekijät ovat velvoitettuja käyttämään suojalaseja, mutta laippaliitosten suojausta korkeapaineisten vuotojen varalta pidettiin silti aiheellisena.

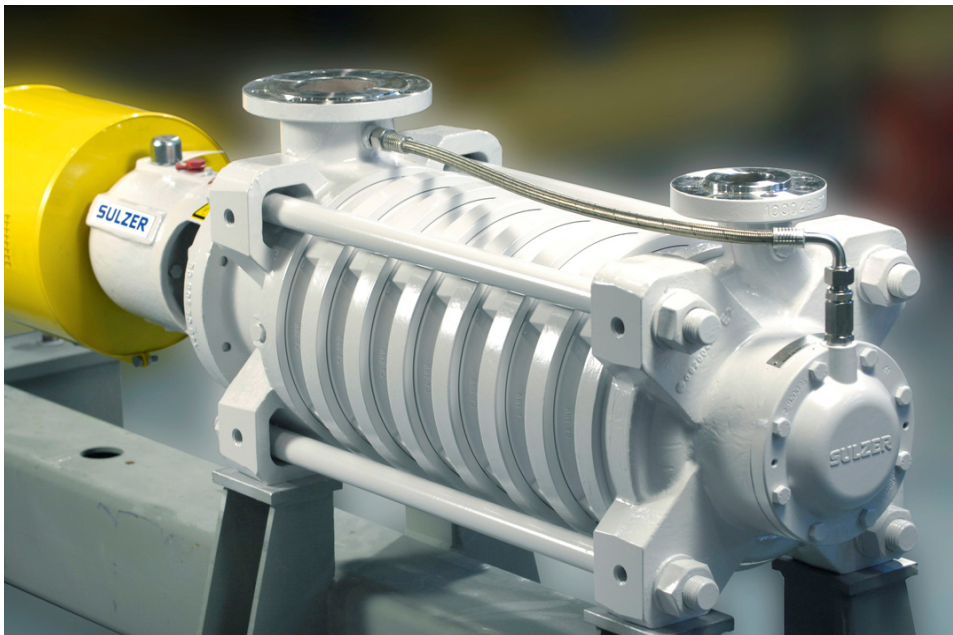


Kuva 2. Vanha kardaanisuoja

Eri pumppumallien (kuvat 3 ja 4) pituuseroista johtuen moottorin aksiaalista sijaintia joudutaan välillä muuttamaan. Siirtämisessä käytettiin apuna siltanosturia ja lihasvoimaa. Tämä oli hidasta ja kasvatti asetusajan pituutta. Ongelman helpottamiseksi päätettiin suunnitella moottorialusta, jossa moottorin liikuttaminen olisi helpompaa.



Kuva 3. Prosessipumppu (7)



Kuva 4. Monijaksopumppu (7)

Moottorin ja pumpun sijainti samalla alustalla oli ongelmallista. Alustan runko johti moottorin synnyttämät värähtelyt pumpulle, mikä vaikeutti tehtäviä mittauksia. Uusi alusta tuli suunnitella siten, että moottori ja pumppu sijoittuvat eri rakenteille.

5 LAIPPALIITOSTEN SUOJAUS

Suojauksen suunnittelu alkoi kaupallisten ratkaisujen kartoittamisella. Kotimaisilta markkinoilta ei löytynyt alan toimijoita, mutta saksalainen valmistaja tarjosi täsmäratkaisua (kuva 5).



Kuva 5. Spray Control® -laippasuojus

Tuotteen tekninen rakenne on yksinkertainen, mutta toimiva (8). Haponkestävästä teräksestä valmistetun pannan sisäpinnalla on pistehitsaamalla kiinnitetty sisus, joka koostuu ohuesta, useaan kertaan taitellusta teräsverkosta. Verkolla on kaksi tarkoitusta. Se hajottaa vuototilanteessa syntyvän pistemäisen suihkun jakaen vedenpaineen koko verkon alueelle. Verkko määrittää myös laipan reunan ja pannan väliin jäävän tilan tarjoten valumareitin vuotavalle nesteelle. Laipan koon mukaan valittu panta kiinnitetään säädettävällä pikalukituksella laipan ympärille.

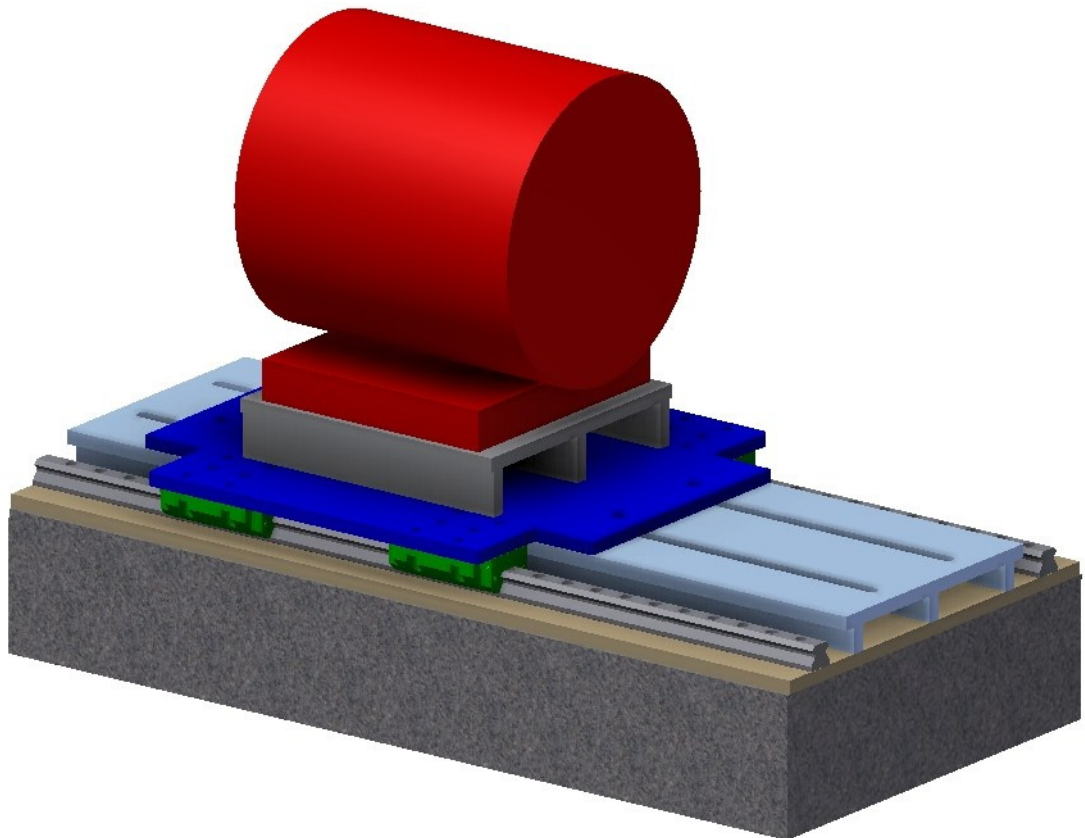
Paineenalaisten laippaliitosten suojaamiselle ei tiettävästi esitetä vaatimuksia konedirektiivissä tai painelaitedirektiivissä. Myöskään suojuksia määrittävässä standardissa SFS-EN 953 + A1 ei oteta kantaa laippaliitosten suojaukseen (9). Tuote täyttää silti monilta osin kyseisen standardin vaatimukset. Spray Control® -laippasuojuksen soveltuvuutta koeajoasemille testataan koekäytössä.

6 MOOTTORIN ALUSTA

6.1 Pääpiirteet

Moottorin alustan suunnittelussa pyrittiin huomioimaan käyttäjien tarpeet sekä mittaustekniset vaatimukset. Moottorin helppo liikuteltavuus ja värähtelyjen vaimentaminen olivat tärkeimpiä määrittäviä tekijöitä. Valmiita kaupallisia ratkaisuja ei ollut tarjolla. Edes moottorivalmistaja ABB:lle lähetetty tiedustelu vastaavista asennusratkaisuista ei tuottanut tulosta.

Eri ehdotusten pohjalta päädyttiin ratkaisuun (kuva 6), jossa moottorin synnyttämien värähtelyjen vaimentaminen ja alustan työkorkeuden parantaminen saavutettaisiin betonivalua hyödyntämällä. Moottorin aksiaalinen liike toteutettaisiin lineaarijohteita käyttäen. Tämä mahdollistaisi moottorin tarkan asemoinnin kevyemmin työmenetelmin.



Kuva 6. Moottorin alusta

6.2 Sovellettava lainsäädäntö

Suunnitelman pääpiirteiden ollessa selvillä oli aika miettiä sovellettavaa lainsäädäntöä. Onko moottorin alusta konedirektiivin alaisuuteen kuuluva laite? Konedirektiivin suomenkielisessä käännöksessä (5, 2. artikla) koneella tarkoitetaan:

toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten,

...koneiden tai g alakohdassa tarkoitettujen puolivalmisteiden yhdistelmiä, jotka on tiettyjä toimintoja varten järjestetty ja ohjattu toimimaan yhtenä kokonaisuutena,

g) 'puolivalmisteella' tarkoitetaan yhdistelmää, joka on melkein kuin kone, mutta joka ei sellaisenaan pysty suorittamaan erityistä toimintoa. Voimansiirtojärjestelmä on puolivalmiste. Puolivalmiste on ainoastaan tarkoitettu liitettäväksi toisiin koneisiin tai muihin puolivalmisteisiin tai laitteisiin tai koottavaksi niiden kanssa siten, että muodostuu sellainen kone, johon sovelletaan tätä direktiiviä;

Ensimmäisen kohdan kolmesta vaatimuksesta yksi täyttyy selkeästi. Laitteessa on yksi liikkuva osa. Levy, johon moottori kiinnitetään, liikkuu lineaarijohteiden varassa alustan perustukseen nähden. Mutta voidaanko laitetta pitää myös erityistä toimintoa varten kokoon pantuna? Kysehän on vain alustasta. Apua on etsittävä englanninkielisestä konedirektiivin tulkintaoppaasta (10, 30).

Machinery must be useable for a specific application. Typical machinery applications include, for example, the processing, treatment, or packaging of materials, or the moving of materials, objects or persons.

The Machinery Directive does not apply as such to separate machinery components such as, for example seals, ball-bearings, pulleys, elastic couplings, solenoid valves, hydraulic cylinders, flange-connected gear-

boxes and the like, that do not have a specific application and that are intended to be incorporated into machinery.

Tulkinnassa tuodaan esille selvä ero yksittäisten komponenttien ja laitteiden suhteen. Yksittäiset, jopa monimutkaiset ja liikkuvia osia sisältävät komponentit eivät täytä koneen määritelmää. Laitteen määritelmä on kuitenkin väljä. Alusta liikuttaa yksittäistä objektia (moottoria) ja on siten lähempänä koneen määritelmää.

Entäpä ensimmäisen kohdan kolmas vaatimus? ...*jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä...* Suomenkielinen käännös on monitulkintainen. Alustan liikuttaminen tapahtuu lihasvoimalla, mutta onko kyse siitä, miten alustan liike on toteutettu vai siitä, että alustalle asennetaan moottori, joka yhdistetään voimansiirtoon? Apu on etsittävä jälleen tulkintaoppaasta (10, 30).

The moving parts of machinery subject to the Machinery Directive must be driven by a source of energy other than directly applied human or animal effort.

Tulkinta antaa selkeän vastauksen. Kyse on siis laitteen liikkuvan osan, eli tässä tapauksessa alustan, liikuttamiseen tarvittavasta voimasta. Ensimmäisen kohdan mukainen koneen määritelmä jää täyttymättä.

Alusta ei yksinään täytä koneen määritelmää, mutta on kuitenkin huomioitava, että uuden aseman valmistuessa syntyy kokonaisuus, joka täyttää direktiivin (5, 2. artikla) mukaisen koneen määritelmän. Suunnittelussa on siten hyvä huomioida tämäkin näkökohta.

...koneiden tai g alakohdassa tarkoitettujen puolivalmisteiden yhdistelmiä, jotka on tiettyjä toimintoja varten järjestetty ja ohjattu toimimaan yhtenä kokonaisuutena,

Direktiivin ensimmäisen artiklan kohdassa h tosin määritellään, ettei direktiiviä sovelleta tilapäistä laboratoriokäyttöä varten erityisesti tutkimukseen suunniteltuihin ja rakennettuihin koneisiin. Asian äkkinäisellä tulkinnalla voitaisiin päätyä tällaiseen lopputulokseen. Tapahtuuhan koneen käyttö erityisessä tutkimuskeskuksessa ja jokainen

uusi pumpun ja moottorin yhdistelmä muodostaa aina uuden koneen. Tulkintaoppaan kanta on erilainen (10, 51).

...the exclusion does not apply to machinery permanently installed in laboratories for purposes other than research such as, for example, for testing purposes. The exclusion only applies to equipment designed and constructed for temporary research use...

Pumppujen koeajojen suorittaminen on juuri sen luonteista ja jatkuvaa toimintaa, jota ei voida rajata direktiivin ulkopuolelle.

6.3 Tekniset yksityiskohdat

Alustan ainoat ja tärkeimmät valmiskomponentit muodostuivat lineaarijohteista. Schaeffler Finland Oy:n laaja valikoima ja ystävällinen palvelu takasivat juuri oikeanlaatuisten komponenttien löytymisen. Valinta kohdistui tuotteeseen RUE65-E-L. Yksittäisen, lineaarijohteelle sijoitetun kelkan staattinen kuormankantokyky on 640 000 newtonia ja dynaaminen 270 000 newtonia. Luvut vaikuttavat suurilta, mutta on huomioitava, että lineaarijohteiden mitoituksessa on normaalia käyttää moninkertaisia varmuuskertoimia. Kuormituksesta ja voitelusta riippuen vierimiskitkakertoimen suurin ilmoitettu arvo on 0,004. (11.)

Seuraavaksi oli määritettävä moottorin liikuttamiseen tarvittava voima. Tarkoituksena oli, että moottorin liikuttaminen olisi jatkossa niin kevyttä, että se onnistuisi helposti vain vähäistä lihasvoimaa käyttäen. Laskennan lähtökohta eli moottorista, sen välitömästä alustasta ja siihen kiinnitettävästä kardaanisuojuksesta koostuva yhteismassa on noin 1 300 kg. Kuorman jakautuessa neljälle kelkalle lähes symmetrisesti voitiin liikuttamiseen tarvittava voima laskea yksinkertaisesti kaavalla:

$$F = mg\mu$$

$$m = \text{kokonaismassa } 1\,300\text{ kg}$$

$$g = \text{putoamiskiihtyvyys } 9,82\text{ m/s}^2$$

$$\mu = \text{vierimiskitkakerroin } 0,004$$

$$F = 1\,300\text{ kg} * 9.82\text{ m/s}^2 * 0,004 = 51\text{ N}$$

Optimaalisten olosuhteiden vallitessa moottorin liikuttamiseen tarvittava voima on varsin vähäinen. Jo pelkkä väärän voiteluaineen käyttäminen kelkkoja huollettaessa voi aiheuttaa havaittavan muutoksen tarvittavassa voimassa. Ergonomian kannalta voiman suuruutta voidaan pitää hyväksyttävänä. Arvo alittaa standardissa SFS-EN 1005-3 + A1 määritetyt raja-arvot (työntäminen 200 N, vetäminen 145 N). Tällöin oletetaan, että henkilö työskentelee seisoma-asennossa ja liikuttaa moottoria koko kehon voimaa apuna käyttäen. (12, 14.)

7 KARDAANIAKSELIN SUOJAUS

7.1 Pääpiirteet

Sähkömoottorin, kardaniakselin ja pumpun yhdistelmät ovat hyvin yleisiä teollisuudessa. Enemmistö sovelluksista on asennettu pysyvästi ja voimansiirto on peitetty kiinteällä suojalla. Asemalla suoritettavan testaustoiminnan luonteen vuoksi tarvittavan suojuksen vaatimukset ovat kuitenkin erilaiset. Voimansiirtoon on päästävä helposti käsiksi pumppua vaihdettaessa, jolloin suojuksen on oltava avattavaa mallia. Toinen vaatimus, suojuksen pituuden säädettävyys, asetti haasteen suojuksen suunnittelulle. Suojuksen oli oltava myös niin lujaa tekoa, että se suojaisi ympärillä olevia ihmisiä, mikäli voimansiirto rikkoutuisi testauksen aikana.

Avattavia suojuksia ei juuri ole markkinoilla, säädettäviä vielä vähemmän. Tämä on ymmärrettävää niiden marginaalisen kysynnän vuoksi. Ainoa varteenotettava tuote oli amerikkalaisen Application Engineering Inc:n markkinoille tuoma malli (kuva 7), joka toimi lähtökohtana suojuksen suunnittelulle.



Kuva 7. Voimansiirron suojus (13)

7.2 Sovellettava ohjeistus

Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelulle on olemassa oma A-tyyppin standardi SFS-EN 953 + A1. Siinä asetetaan lukuisia vaatimuksia suojuksen suunnittelulle keskittyen ensisijaisesti mekaanisilta vaaroilta suojautumiseen. (9.) Työn kannalta standardin oleelliset kohdat ovat seuraavat:

Iskunkestävyys

Suojukset on suunniteltava kestäämään kohtuudella ennakoitavissa olevia koneen osien, työkalujen, särkyneiden työkalujen, sinkoutuvien kiinteiden tai nestemäisten aineiden, käyttäjän tms. aiheuttamia iskuja. On valittava sellaisia aineita, joiden ominaisuudet ovat sopivat kestäämään sinkoutuvien kappaleiden tai aineiden massaa ja nopeutta.

Suunnittelijan luonnollisin valinta painottuu teräkseen. Markkinoilla on myös polykarbonaatista valmistettuja suojuksia, mutta polykarbonaatin heikko liuottimien sietokyky tekee siitä arveluttavan valinnan teollisuusympäristöön.

Liitosten pitävyys

Hitsattujen, liimattujen tai mekaanisesti kiinnitettyjen liitosten on oltava riittävän lujia kestääkseen kohtuudella ennakoitavissa olevat kuormitukset. Liima-aineita käytettäessä niiden on oltava yhteensopivia prosessin ja käytettävien aineiden kanssa. Mekaanisia kiinnittimiä käytettäessä niiden lujuuden, lukumäärän ja välimatkan on oltava riittäviä varmistamaan suojuksen vakavuus ja jäykkyys.

Hitsaussaumojen mitoittamista tasalujiksi liitettävien rakenneosien kanssa voitaneen pitää yksinkertaisena nyrkkisääntönä turvallisuuden kannalta. Tämä johtaa ehkä saumojen ylimitoittamiseen, mutta helpottaa suunnittelijan työtä.

Avattavat suojukset

Avattavan suojuksen avaamiseksi on vaadittava tarkoituksellinen toiminto ja avattavien suojusten on mahdollisuuksien mukaan oltava kiinnitetty koneeseen tai koneen lähellä oleviin kiinteisiin rakenteisiin niin, että suojukset ovat kiinni koneessa esim. saranoilla tai johteilla silloinkin kun ne ovat avoinna. Tällaisten kiinnityselimien irrottaminen saa olla mahdollista vain työkalun avulla.

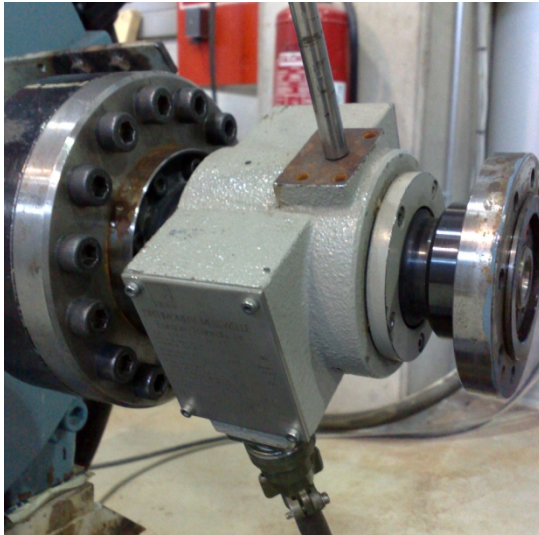
Voimansiirron liikkuvat osat

Voimansiirron liikkuvien osien... ..aiheuttamilta vaaroilta suojaavien suojusten on oltava kiinteitä suojuksia tai toimintaankytkettyjä avattavia suojuksia.

Suunniteltava suojus on standardissa mainitun mukainen ja siten varustettava laitteella, joka katkaisee moottorin virransyötön, mikäli suojus avataan käytön aikana. Standardissa SFS-EN 1088 + A2 käsitellään suojusten kytkentää koneen toimintaan (14). Sen tärkeimpänä viestinä voidaan pitää vaatimusta toimintaankytkennän sellaisesta toteuttamisesta, joka estää turvatoiminnon helpon ja yksinkertaisen mitätöimisen.

7.3 Tekniset yksityiskohdat

Suunniteltaessa kestävästä teräksistä suojaa on aina vaarana, että rakenteesta tulee liian painava ja siten hankala käyttää. Käytettävän teräksen paksuus määräytyi laskelman perusteella, jossa huomioitiin kardaniakseliin kiinnitetyn, vajaan viiden kilon painoisen momenttianturin (kuva 8) käytönaikaisesta hajoamisesta ja irtisinkoutumisesta aiheutuva voima.



Kuva 8. Momenttianturi

Laskennallisen tarkastelun lähtökohtana pidettiin tilannetta, jossa viiden kilon painoinen esine irtoaa kehältä, jonka halkaisija on 90 millimetriä ja moottorin kierrosnopeus on 4 000 kierrosta minuutissa. Sinkoutuvan kappaleen liike-energia laskettiin seuraavasti:

Ensin on määritettävä kehänopeus, joka laskettiin kaavalla:

$$v = \pi d n$$

$$d = \text{kehän halkaisija } 0,09 \text{ m}$$

$$n = \text{moottorin pyörimisnopeus } 4\,000 \text{ } 1/\text{min} = 66,7 \text{ } 1/\text{s}$$

$$v = \pi * 0,09 \text{ m} * 66,7 \text{ } 1/\text{s} = 18,9 \text{ m/s}$$

Irtoava kappale sinkoutuu voimalla:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

m = kappaleen massa 5 kg

$$r = \frac{d}{2} = 0,045\text{ m}$$

$$F = \frac{5\text{ kg} * (18,9\text{ m/s})^2}{0,045\text{ m}} = 39,7\text{ kN}$$

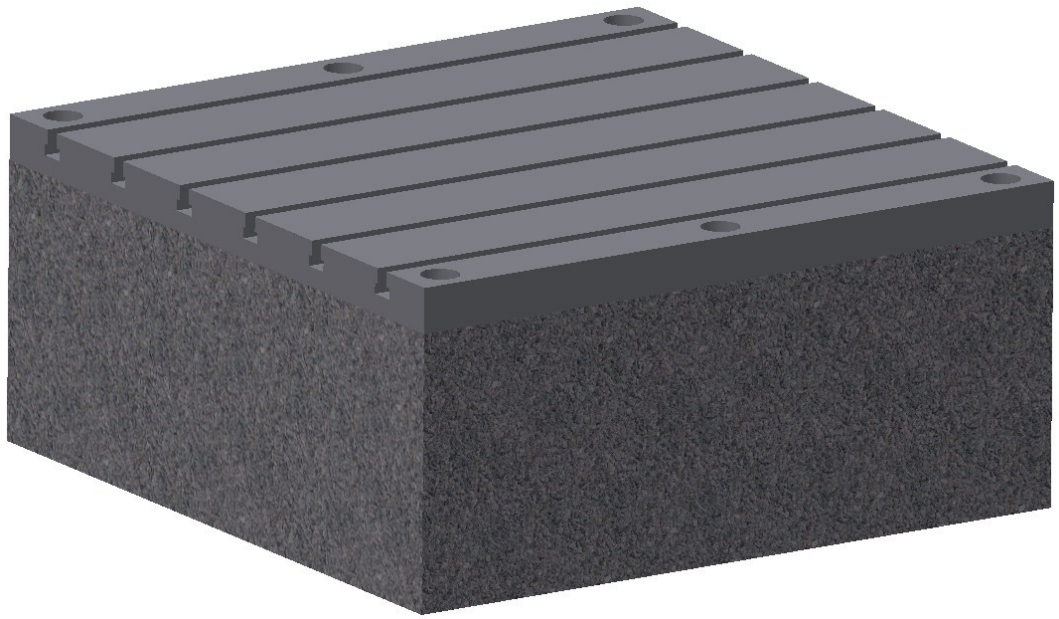
Tämän tiedon perusteella oli mahdollista optimoida oikea paksuus suojuksen rakenneosille. Aseman suunnittelussa hyödynnettiin Autodesk Inventor Professional 2011 -ohjelmistoa, jonka sisältämät simulointityökalut helpottivat eri vaihtoehtojen tarkastelua. Kolmen millimetrin paksuinen levy antaa riittävän turvan yllä mainittua iskuvoimaa vastaan. Suojuksen hahmotelma oli rakenteeltaan silti niin painava (kuva 9), että sen käyttöön tarvittava voima ylitti standardissa SFS-EN 1005-3 + A1 määritetyt raja-arvot ja vaatii vielä käyttövoimaa keventävien ratkaisujen suunnittelua (13, 14).



Kuva 9. Suojuksen hahmotelma

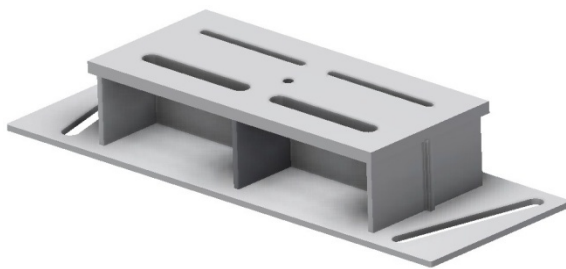
8 PUMPUN ALUSTA

Alkuperäinen ajatus ergonomian parantamiseksi sisälsi suunnitelman korkeussäädettävästä pumpun alustasta. Käytännössä se osoittautui liian hankalaksi toteuttaa. Hydraulisesti tai mekaanisesti nostava alusta olisi kieltämättä ollut kätevä, mutta rakenteesta olisi ollut hyvin vaikea saada riittävän jäykkää vaimentamaan pumpun synnyttämiä värähtelyjä. Lopullinen ratkaisu muotoutui hyvin yksinkertaiseksi; se koostui betonialustaan valettavasta T-urapöydästä (kuva 10).



Kuva 10. Pumpun alusta

Alustan suunnittelulle esitetty toinen vaatimus, tulitöiden tarpeen poistaminen, onnistuttiin silti toteuttamaan. Pumppujen kiinnittämiseksi alustaan tullaan käyttämään yleisimmille pumppumalleille räätälöityjä asennustukia (kuva 11).



Kuva 11. Asennustuki

Pumpun alusta on aseman yksinkertaisin osakokonaisuus. Täten se ei sisällä konedirektiivin kannalta huomioon otettavia näkökohtia. Betonivaluun kiinnitettävien rakenteiden asentamiselle on olemassa toki omat ohjeensa, mutta niiden käsitteleminen tässä yhteydessä ei palvele työn tarkoitusta.

9 YHTEENVETO

Työ tarjosi laajan alustan oman osaamisen testaamiselle ja toi esille sen vahvuudet ja puutteet. Kaikkien suunnittelussa tarvittavien näkökohtien huomioiminen olisi ollut vaikeaa, ellei mahdotonta, mutta herättää kysymyksen: unohtuiko jotakin tärkeää? Yksityiskohtien hiominen lienee vielä tarpeen projektin toteutuksen yhteydessä.

Suunnittelua määrittävien säädösten tarkastelu oli opettavaista. Erilaisia ohjeistuksia on olemassa niin valtaisa määrä, että tuntui, kuin työssä olisi raapaistu vain pintaa. Et-sityn tiedon soveltaminen tarjoaa silti mahdollisuuden vastata useimpiin kysymyksiin, joita johdannossa esitettiin. Kuinka ergonomiseksi ja käyttötarkoituksensa mukaiseksi työntekijät uuden aseman kokevat, selviää vasta myöhemmin.

Kaiken kaikkiaan työtä voidaan pitää hyvänä harjoituksena tulevaisuuden haasteiden varalle.

LÄHTEET

1. Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Keuruu: Otava.
2. Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. Keuruu: Otava.
3. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2009. SFS-käsikirja 403. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
4. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400> [viitattu 17.3.2011].
5. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:FI:PDF> [viitattu 20.3.2011].
6. Sulzer Pumps Finland Oy. 2010. Työalueen vaarojen arviointi. Yrityksen sisäinen dokumentti.
7. Sulzer Pumps Ltd. 2011. Saatavissa: <http://www.sulzerpumps.com/desktopdefault.aspx/tabid-3498/> [viitattu 28.3.2011].
8. BETEK Sicherheitstechnik GmbH. Spray Control® -tuote-esite. Saatavissa: http://www.spraycontrol.de/download/sc_2004_en.pdf [viitattu 25.3.2011].
9. SFS-EN 953 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
10. European Commission. 2010. Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC 2nd Edition. Saatavissa: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide_application_directive_2006-42-ec-2nd_edit_6-2010_en.pdf [viitattu 20.3.2011].

11. Schaeffler KG. 2008. Monorail Guidance Systems –tuoteluettelo. s.l.
12. SFS-EN 1005-3 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. Osa 3: Koneen käytön suositellut voimarat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
13. Application Engineering Inc. 2011. Saatavissa:
<http://www.appenginc.com/about.cfm> [viitattu 22.3.2011].
14. SFS-EN 1088 + A2. 2009. Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.